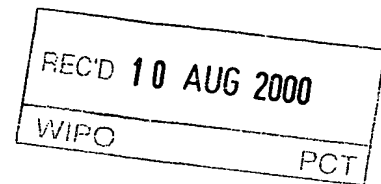


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY
DOCUMENTSUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)DE 00/1875
4Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung

10/009415

Aktenzeichen: 199 26 699.9

Anmeldetag: 11. Juni 1999

Anmelder/Inhaber: Vacuumschmelze GmbH,
Hanau/DE

Bezeichnung: Hochpasszweig einer Frequenzweiche
für ADSL-Systeme

IPC: H 03 H, H 01 F

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. Juli 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Hiebing



Zusammenfassung

Hochpaßzweig einer Frequenzweiche für ADSL-Systeme

- 5 Ein Hochpaßzweig (7) einer Frequenzweiche für ADSL-Systeme weist induktive Bauelemente (11, 14) auf, die über Magnetkerne aus einem weichmagnetischen amorphen oder nanokristallinen Material verfügen. Dadurch ergeben sich kleine Bauformen für die Frequenzweichen.

10

Figur 2

FIG 1

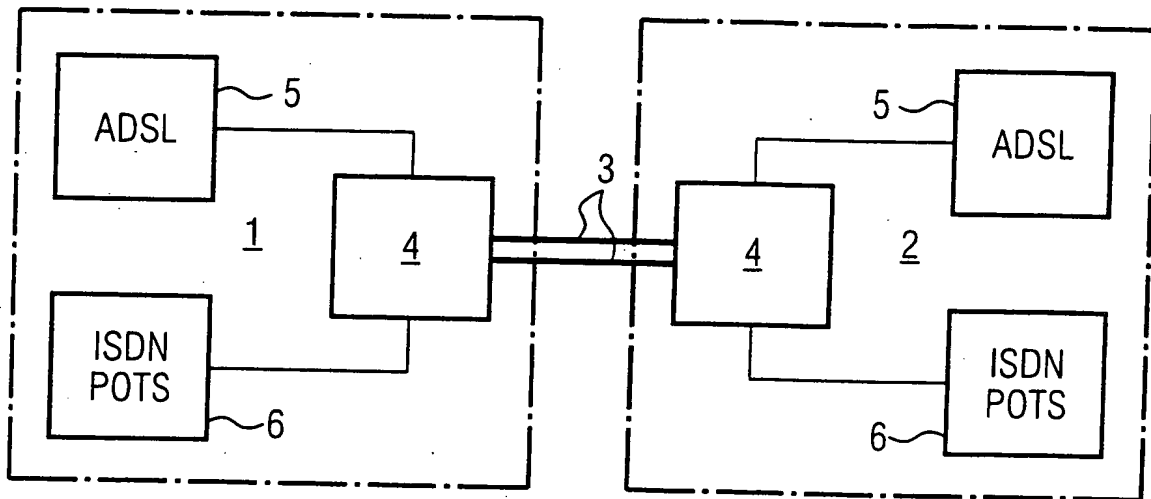
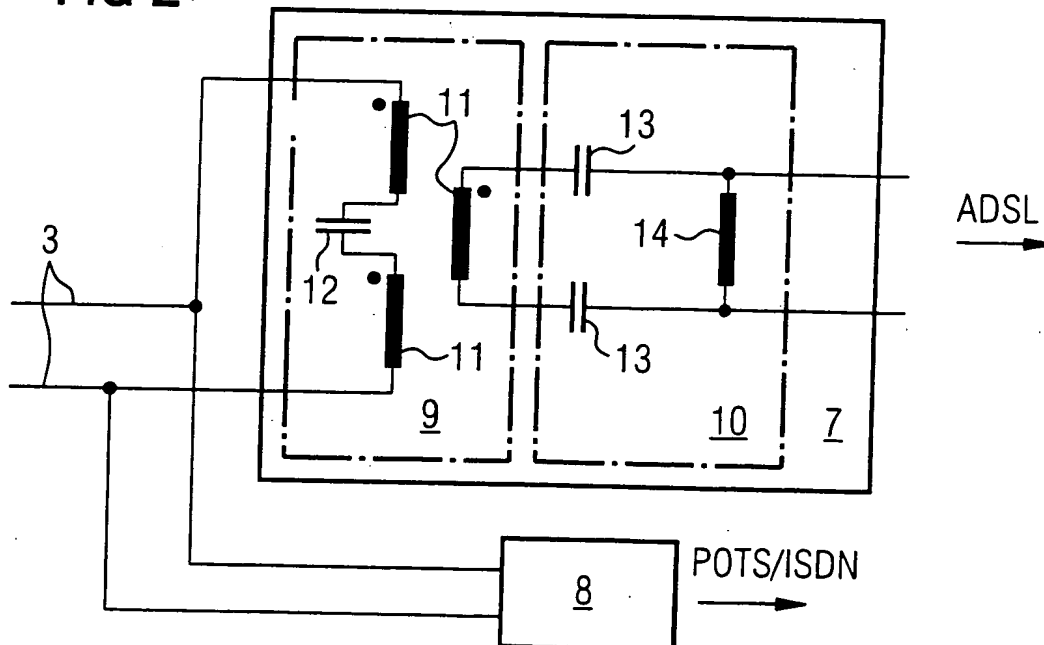


FIG 2



Beschreibung

Hochpaßzweig einer Frequenzweiche für ADSL-Systeme

5 Die Erfindung betrifft eine Frequenzweiche mit einem Tiefpaßzweig für niederfrequente Signale insbesondere analoger Kommunikationssysteme und mit einem Hochpaßzweig für hochfrequente Signale digitaler Kommunikationssysteme mit einer Vielzahl von induktiven Bauelementen mit Magnetkernen.

10 Als Magnetkerne wurden bisher RM4, RM6, RM8 sowie andere Ferrit-Schalenkerne aus Kernwerkstoffen wie beispielsweise N27 und N48 eingesetzt. Die erforderliche Klirrfaktor Anforderung wurde dabei mittels Scherung durch Schlitzen des Magnetkerns erreicht.

Ein Nachteil der Scherung ist, daß sie einen Rückgang der effektiv wirksamen Kernpermeabilität bis auf Werte um 200 bewirkt. Zum Erreichen der erforderlichen Hauptinduktivität, der niedrigen Einfügedämpfung im Sperrbereich und der erforderlichen Aussteuerbarkeit muß beim Hochpaßzweig mit Ferritkernen konstruktionsbedingt das Volumen sehr groß ausgelegt werden, so daß aus Ferritkernen hergestellte Hochpaßzweige viel Platz in Anspruch nehmen. Aus den wegen der niedrigen Permeabilität hohen Windungszahlen von primär- und sekundärseitiger Bewicklung der Ferritlösungen resultieren weiterhin hohe Koppel- und Wicklungskapazität und Streuinduktivität, die zu Störeffekten führen können.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Frequenzweiche zu schaffen, deren Hochpaßzweig für Hochfrequenzsignale digitaler Kommunikationssysteme geeignet ist und ein geringes Bauvolumen aufweist.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß der Hochpaßzweig wenigstens ein Bauelement mit einem Magnetkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung umfaßt

Amorphe und nanokristalline, weichmagnetische Legierungen weisen im Vergleich zu Ferriten eine wesentlich höhere Permeabilität auf. Es ist jedoch schwierig, Magnetkerne aus einer amorphen oder nanokristallinen, weichmagnetischen Legierung so herzustellen, daß die Hystereseschleife die für den Einsatz in digitalen Breitbandkommunikationssystemen erforderliche Linearität aufweist. Ein hohes Maß an Linearität ist aber erforderlich, um die gestellten Anforderungen an den Klirrfaktor zu erfüllen. Da jedoch die magnetische Aussteuerung des Magnetkerns mit zunehmenden Frequenzen abnimmt, sind bei großen Aussteuerungen auftretende Abweichungen von einer idealen linearen Hystereseschleife für hohe Frequenzen unschädlich. Demnach ist es möglich, für die induktiven Bauelemente im Hochpaßzweig der Filterweiche amorphe oder nanokristalline weichmagnetische Legierungen vorzusehen.

Für die Verwendung im Hochpaßzweig der Frequenzweiche bevorzugte Legierungen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

Im folgenden wird die Erfindung im einzelnen anhand der beigefügten Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

- Figur 1 eine Übersicht über die Verbindung zwischen einer Ortsvermittlungsstelle und einem teilnehmerseitigen Netzabschluß;
- Figur 2 eine Frequenzweiche, die einen Hochpaßzweig und einen Tiefpaßzweig aufweist;
- Figur 3 ein Diagramm, das beispielhaft die Abhängigkeit des Frequenzgangs der Permeabilität von der Dicke der für die Herstellung eines Magnetkerns verwendeten Bänder zeigt;
- Figur 4 ein weiteres Diagramm, das die Abhängigkeit des Frequenzgangs der Permeabilität von der Breite ei-

3

nes in einem Magnetkern eingebrachten Schlitzes darstellt;

5 Figur 5 eine Darstellung der auf die Permeabilität bei Raumtemperatur bezogenen Permeabilitätsänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur;

Figur 6 eine Darstellung des Frequenzgangs des Ohmschen Widerstands im Parallelersatzschaltbild von Spulen, die Magnetkerne aus einer amorphen Legierung aufweisen;

10 Figur 7 eine Darstellung des Frequenzgangs der Einfügdämpfung der Spulen aus Figur 6;

Figur 8 eine Darstellung der Gleichfeldvorbelastbarkeit von Magnetkernen aus verschiedenen amorphen und nanokristallinen Legierungen; und

15 Figur 9 eine Hystereseschleife mit nahezu idealer Linearität.

20 Da VDSL-Systeme noch nicht in allen Details festgelegt sind werden im folgenden insbesondere induktive Bauelemente des ADSL-Systems beschrieben. Nach heutigem Kenntnisstand ist davon auszugehen, daß die Anforderungen an die induktiven Bauelemente für VDSL-Systeme denen des ADSL-Systems weitgehend entsprechen.

25 Wie in Fig 1 dargestellt, erfolgt im ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line)-Telekommunikationssystem die Verbindung zwischen einer ADSL-fähigen digitalen Ortsvermittlungsstelle 1 und einem teilnehmerseitiger Netzabschluß 2 (ADSL-Modem) über eine öffentliche Zweidrahtleitung 3. Zeitgleich mit den ADSL-Daten können über dieselbe Zweidrahtleitung 3 POTS(plain old telephone system)- oder ISDN(Integrated Services Digital Network)-Verbindungen laufen. Die Trennung und Übertragung der
30 niederfrequenten (POTS, ISDN) und der hochfrequenten Kompo-

4

nenten (ADSL) wird durch Frequenzweichen 4 bewirkt, die an den Enden der öffentlichen Zweidrahtleitung 3 sitzen

Die über die öffentliche Zweidrahtleitung 3 laufenden hochfrequenten ADSL-Signale werden von den Frequenzweichen 4 in einen ADSL-Zweig 5 gelenkt, während die niederfrequenten POTS- und ISDN-Signale von den Frequenzweichen 4 jeweils in POTS-/ISDN-Zweige 6 gelenkt werden. Die Frequenzweichen 4 umfassen demzufolge einen Hochpaßzweig 7 und einen Tiefpaßzweig 8. Bei dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel wird der Hochpaßzweig 7 von einem Hochpaßübertrager 9 und nachgeschalteten Hochpaßfilterkomponenten 10 gebildet. Der Hochpaßübertrager 9 weist drei auf einen gemeinsamen Magnetkern aufgewickelte Spulen 11 und einen zwischen die primärseitigen Spulen 11 geschalteten Kondensator 12 auf. Die nachgeschalteten Hochpaßfilterkomponenten 10 umfassen Kondensatoren 13 und eine Hochpaßfilterdrossel 14. Die Induktivitäten des Hochpaßübertragers 9 und die Hochpaßfilterdrossel 14 werden nachfolgend kurz als die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweigs 7 bezeichnet.

Es sei angemerkt, daß neben dem in Figur 2 dargestellten Ausführungsbeispiel weitere Ausführungsformen des Hochpaßzweiges 7 denkbar sind.

So sind die hier vorgestellten induktiven Bauelemente auch in anderen Ausführungsformen des Hochpaßzweig 7, zum Beispiel bei einem elliptischen oder Invers-Tschebyscheff-Hochpaßzweig 7, einsetzbar.

Je nach dem Übertragungssystem unterscheidet man das DMT-System (discrete multitone) und das CAP-System (carrierless amplitude phase modulation). Die Codierungen haben Auswirkungen auf die spektrale Verteilung des Magnetisierungsstromes des Hochpaßzweigs 7 in der Frequenzweiche 4.

Man muß ferner ADSL-Systeme über POTS und ISDN unterscheiden, die verschiedene untere Grenzfrequenzen (POTS: ca. 30 kHz, ISDN: ca. 140 kHz) haben. Nachfolgend wird deshalb zwischen ~~ADSL-POTS-Splitttern~~ und ~~ADSL-ISDN-Splitttern~~ unterschieden.

- 5 Aufgrund der niedrigeren Grenzfrequenzen und den höheren Spannungsamplituden bei POTS bekommt man eine stärkere Aussteuerung der induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 bei POTS als bei ISDN. Die Magnetkerne der induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 dürfen aber aufgrund der U_{ac} -
- 10 Aussteuerung weder in Sättigung gehen noch dürfen sie so weit angesteuert werden, daß systemspezifische Eigenschaften, die in den einschlägigen Normen festgelegt sind, nicht mehr erfüllt werden.

- 15 An die auf beiden Seiten der öffentlichen Zweidrahtleitung 3 im Hochpaßzweig 7 eingesetzten induktiven Bauelemente werden deshalb die folgenden Anforderungen gestellt:

- a) minimales Bauvolumen
- b) Eignung für die Übertragungssysteme
 - 20 • DMT
 - CAP
 - QAM / MQAM ((Multiple) Quadrature Amplitude Modulation)
- c) Hauptinduktivitäten < 2 mH je nach Filterauslegung, im allgemeinen < 0.5 mH
- 25 d) Wechselspannungsaussteuerung der Induktivitäten
 - bei hohen Frequenzen durch ADSL-Signale (ab 20 kHz, bis 45Vpp)
 - bei niedrigeren Frequenzen durch POTS- und ISDN-Signale mit typischen Pegeln gemäß ITR110 und ETR80
- 30 e) Loops nach ANSI T1E1.413 und ETSI ETR 328
- f) geringes Kerngewicht und SMD-Fähigkeit
- g) Ringkernform, dadurch einfachere Sicherheitsanforderungen nach IEC 950
- h) geringe Einfügedämpfung im ADSL-Durchlaßbereich (zur Zeit
- 35 > 30kHz (POTS) oder > 140 kHz (ISDN) bis 1,1 MHz, eventu-

ell bis 1,8 MHz), hohe Einfügedämpfung im ADSL-Sperrbereich (zur Zeit < 20 kHz (POTS) oder < 100 kHz (ISDN))

- 5 i) geringer und monotoner Temperaturgang der relevanten magnetischen Kenngrößen im Bereich $-40^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$.

Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um induktive Bauelemente für den Hochpaßzweig 7 in ADSL-POTS-Splittern und ADSL-ISDN-Splittern, die statt eines Ferritkerns einen kleinen Metallbandkern aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung enthalten. Dieser erhält seine normgerechten Eigenschaften durch eine optimierte Kombination aus Banddicke, Legierung und Wärmebehandlung im Magnetfeld sowie kerntechnologische Fertigungsschritte.

15

Eine erste grundlegende Anforderung ist, daß die Permeabilität der Kernmaterialien der induktiven Bauelemente im Hochpaßzweig 7 über den gesamten ADSL-Frequenzbereich weitestgehend konstant bleibt. Wie Fig. 3 und 4 zeigen, wurde diese Anforderung folgendermaßen erfüllt:

20

Magnetkerne, die aus niederpermeablen ($\mu \leq 2500$) Legierungen hergestellt werden, sind vorzugsweise ungeschlitzt. Die erforderlichen Frequenzeigenschaften werden dabei über den spezifischen elektrischen Widerstand ρ der Legierung und die Banddicke d_{Band} eingestellt. Wie aus Fig. 3 hervorgeht, sollte $d_{\text{Band}} < 30\mu\text{m}$, vorzugsweise $< 20\mu\text{m}$, möglichst $< 17\mu\text{m}$ oder noch kleiner sein, damit die Permeabilität der Kernmaterialien weitestgehend konstant bleibt. Gemäß Fig. 5, bleiben diese $\mu(f)$ -Eigenschaften der hier verwendeten, wärmebehandelten Werkstoffe über einen weiten Temperaturbereich stabil.

25

30

Wenn die Magnetkerne dagegen aus höherpermeablen Legierungen ($\mu \geq 2500$, vorzugsweise $\mu \geq 10000$) hergestellt werden, so läßt sich entsprechend Fig. 4 der Frequenzgang der der Per-

35

7

meabilität μ und damit der der Induktivität L durch Einbringung eines Schlitzes in angepaßter Breite wesentlich verbessern. Die Schlitzbreite d_{Schlitz} hängt dabei wiederum von der Kombination Legierung/Wärmebehandlung ab. Typische Breiten
5 liegen im Bereich 1 bis 200 μm .

Eine zweite grundlegende Anforderung ist, daß die Einfügungsdämpfung im Hochpaßzweig 7 über den gesamten ADSL-Frequenzbereich hinweg entsprechend ANSI T1E1.413 möglichst
10 gering ist. Für das Gesamtsystem, bestehend aus zwei ADSL-Modems, muß ohne Berücksichtigung der Leitung $a_E < 1$ dB gelten, wobei a_E die Einfügungsdämpfung ist. Dabei nimmt für einen vorgegebenen Wellenwiderstand die Einfügungsdämpfung mit
15 zunehmendem Wert für R_p ab. R_p ist dabei der ohmsche Widerstand im Parallelersatzschaltbild für das induktive Bauelement, der die Ummagnetisierungsverluste im Magnetkern sowie die ohmschen Kupferverluste der Bewicklung repräsentiert. Dabei gilt der Zusammenhang

20
$$R_p(f) = 2 \cdot n^2 \cdot N^2 \cdot (1/\rho_{\text{mech}}) \cdot (A_{\text{Fe}}/l_{\text{Fe}}) \cdot f^2 \cdot B^2 / P_{\text{Fe}}(f) \quad (1)$$

wobei N die Anzahl der Windungen, ρ_{mech} die spezifische Dichte des Magnetkerns, A_{Fe} die Querschnittsfläche des Magnetkerns
25 l_{Fe} die Eisenweglänge, B die magnetische Induktions und $P_{\text{Fe}}(f)$ den Frequenzgang der spezifischen Gesamtverluste bezeichnet, die ihrerseits wiederum von den Hysterese- und von den Band-eigenschaften abhängen.

Wie aus den Fig. 6 und 7 hervorgeht, lassen sich mit den hier
30 verwendeten, wärmebehandelten Magnetlegierungen besonders große R_p -Werte schon bei sehr kleiner Eisenweglänge, d.h. kleiner Kerngeometrie, erreichen. Weiterhin wurde herausgefunden, daß eine Absenkung der Banddicke von 30 μm auf 20 μm , besser auf 17 μm oder sogar noch darunter, zu einer weiteren

8

Steigerung von R_p führt, ohne daß sich hierbei die Abmessungen des Kerns vergrößern.

5 Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß sich gerade durch die Kombination aus extrem linearer Hystereseschleife und dünnen Bändern der hier verwendeten, wärmebehandelten Legierungen mit hohem spezifischen elektrischen Widerstand ADSL-Hochpaßzweige 7 mit besonders kleinen Einfügungsdämpfungen herstellen lassen.

10

Noch weiter verbessern läßt sich der R_p -Wert durch eine Beschichtung von mindestens einer Bandoberfläche mit einem elektrisch isolierenden Medium, das eine kleine Dielektrizitätszahl von $\epsilon_r < 10$ besitzen muß. Eine andere Möglichkeit
15 zur Verschiebung des verlustbedingten Permeabilitätsabfalls, wird durch die definierte Einstellung der Permeabilität innerhalb bestimmter Grenzen auf möglichst niedrigem Niveau oder durch Einbringen eines angepaßten Schlitzes erzielt. Die normgerechten Eigenschaften von induktiven Bauelementen
20 für den Hochpaßzweig 7 lassen sich am besten mit amorphen, nahezu magnetostriktionsfreien Kobalt-Basis-Legierungen sowie mit praktisch magnetostriktionsfreien feinkristallinen Legierungen erreichen. Letztere werden üblicherweise als "nanokristalline Legierungen" bezeichnet und sind durch ein extrem
25 feines Korn mit einem mittleren Durchmesser von weniger als 100 nm gekennzeichnet, das mehr als 50 % des Materialvolumens einnimmt. Eine wichtige Voraussetzung ist, daß die Induktivitäten eine hohe Sättigungsinduktion von $B_s > 0,6$ T, vorzugsweise $> 0,9$ T, besser > 1 T, und eine sehr lineare Hystereseschleife mit einem Sättigungs- zu Remanenzverhältnis $B_r/B_s < 0,2$, vorzugsweise $< 0,08$, besitzen. In diesem Zusammenhang
30 zeichnen sich die magnetostriktionsfreien nanokristallinen Werkstoffe auf Fe-Basis durch eine besonders hohe Sättigungsinduktion von 1,1 T oder mehr aus. Eine Aufzählung sämtlicher

betrachteter und erfindungsgemäß für geeignet befundener Legierungssysteme findet sich weiter unten.

Die dritte grundsätzliche Voraussetzung für das Erreichen der im Hochpaßzweig von ADSL-POTS- oder ADSL-ISDN-Splittern geforderten Eigenschaften ist ein ausgeprägtes Linearitätsverhalten der Hystereseschleifen, wie dies zum Beispiel in Fig. 8 und 9 dargestellt ist. Solche linearen Hystereseschleifen lassen sich beispielsweise durch die nachfolgend beschriebenen Fertigungsgänge erreichen:

Das mittels Rascherstarrungstechnologie hergestellte weichmagnetische amorphe Band der Dicke $d < 30 \mu\text{m}$, vorzugsweise $< 20 \mu\text{m}$, besser $< 17 \mu\text{m}$, aus einer der unten aufgezählten Legierungen wird auf speziellen Maschinen spannungsfrei zum Magnetkern in dessen Endabmessung gewickelt. Alternativ kommen hierbei aber auch Magnetkerne in Frage, die aus einem Stapel gestanzter Scheiben aus besagten Legierungen aufgebaut sind.

Wie bereits erwähnt, lassen sich die normgerechten Anforderungen an die Frequenzeigenschaften dann noch besser erfüllen, wenn das Band vor dem Wickeln des Magnetkerns, insbesondere vor dem Stanzen der Scheiben, auf einer Seite oder auf zwei Seiten elektrisch isolierend beschichtet wird. Hierfür wird, je nach Anforderungen an die Güte der Isolations-schicht, ein Tauch-, Durchlauf-, Sprüh- oder Elektrolyseverfahren am Band eingesetzt. Dasselbe kann aber auch durch Tau-chisolation des gewickelten oder gestapelten Magnetkerns erreicht werden. Bei der Auswahl des isolierenden Mediums ist darauf zu achten, daß dieses einerseits auf der Bandoberfläche gut haftet, andererseits keine Oberflächenreaktionen verursacht, die zu einer Schädigung der Magneteigenschaften führen können. Bei den hier erfindungsgemäß eingesetzten Legierungen haben sich Oxide, Acrylate, Phosphate, Silikate und Chromate der Elemente Ca, Mg, Al, Ti, Zr, Hf, Si als wir-

10

kungsvolle und verträgliche Isolatoren herausgestellt. Besonders effektiv war dabei Mg, welches als flüssiges magnesiumhaltiges Vorprodukt auf die Bandoberfläche aufgebracht wird, und sich während einer speziellen, die Legierung nicht beeinflussenden Wärmebehandlung in eine dichte Schicht aus MgO umwandelt, deren Dicke zwischen 50 nm und 1 μ m liegen kann.

Bei der anschließenden Wärmebehandlung der isolierten oder unisolierten Magnetkerne zur Einstellung der weichmagnetischen Eigenschaften ist zu unterscheiden, ob der Magnetkern aus einer Legierung besteht, die sich zur Einstellung einer nanokristallinen Struktur eignet oder nicht.

Magnetkerne aus Legierungen, die sich zur Nanokristallisation eignen, werden zur Einstellung des nanokristallinen Gefüges einer exakt abgestimmten Kristallisationswärmebehandlung unterzogen, die je nach Legierungszusammensetzung zwischen 450 °C und 690 °C liegt. Typische Haltezeiten liegen zwischen 4 Minuten und 8 Stunden. Je nach Legierung ist diese Kristallisationswärmebehandlung im Vakuum oder im passiven oder reduzierenden Schutzgas durchzuführen. In allen Fällen sind materialspezifische Reinheitsbedingungen zu berücksichtigen, die fallweise durch entsprechende Hilfsmittel wie elementspezifische Absorber- oder Gettermaterialien herbeizuführen sind.

Dabei wird durch eine exakt abgegliche Temperatur- und Zeitkombination ausgenutzt, daß sich bei den hier verwendeten Legierungszusammensetzungen gerade die Magnetostruktionsbeiträge von feinkristallinem Korn und amorpher Restphase ausgleichen und die erforderliche Magnetostruktionsfreiheit $|\lambda_s| < 2$ ppm, vorzugsweise sogar $|\lambda_s| < 0,2$ ppm, entsteht. Je nach Legierung und Ausführungsform des Bauelements wird entweder feldfrei oder im Magnetfeld längs zur Richtung des gewickelten Bandes ("Längsfeld") oder quer dazu ("Querfeld") getempert. In bestimmten Fällen kann auch eine Kombination aus zwei oder sogar drei dieser Magnetfeldkonstellationen zeit-

lich hintereinander oder parallel nötig werden. Besonders flache und lineare Schleifen wurden dann erreicht, wenn die Magnetkerne stirnseitig exakt so aufgestapelt sind, daß die Stapelhöhe mindestens das 10-fache, vorzugsweise wenigstens das 20-fache des Kernaußendurchmessers betrug und wenn bereits während der beschriebenen Kristallisationswärmebehandlung ein starkes Querfeld anlag. Die Hystereseschleife wurde dabei in der Regel umso flacher, je höher die Querfeldtemperatur angesetzt wurde, wobei das Überschreiten der legierungsspezifischen Curietemperaturen sowie die Entstehung unmagnetischer Phasen wie zum Beispiel Fe-Boride eine obere Grenztemperatur festlegt.

Die magnetischen Eigenschaften, das heißt die Linearität und die Steigung der Hystereseschleife, können - falls nötig - weiträumig durch eine zusätzliche Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotationssymmetrieachse des Magnetkerns - also rechtwinklig zur Bandrichtung - steht, variiert werden. Je nach Legierung und einzustellendem Permeabilitätsniveau sind dabei Temperaturen zwischen 350 °C und 690 °C erforderlich. Aufgrund der Kinetik der atomaren Reorientierungsvorgänge sind normalerweise die resultierenden Permeabilitätswerte umso niedriger, je höher die Querfeldtemperatur ist. Typische Kennlinien verschiedener geeigneter nanokristalliner Magnetlegierungen, die deren Linearitätsverhalten zum Ausdruck bringen, sind der Fig. 8 zu entnehmen. Diese Magnetfeld-Wärmebehandlung wurde entweder direkt mit der Kristallisationswärmebehandlung kombiniert oder separat durchgeführt. Für die Glühatmosfera galten dieselben Bedingungen wie bei der Kristallisationswärmebehandlung zur Einstellung der nanokristallinen Struktur.

Bei Magnetkernen aus amorphen Werkstoffen erfolgt die Einstellung der magnetischen Eigenschaften, das heißt von Verlauf und Steigung der linearen flachen Hystereseschleife,

12

durch eine Wärmebehandlung in einem Magnetfeld, das parallel zur Rotationssymmetrieachse - also rechtwinklig zur Bandrichtung des Magnetkerns - verläuft. Durch eine günstige Führung der Wärmebehandlung wird ausgenutzt, daß sich der Wert der Sättigungsmagnetostriktion während der Wärmebehandlung um einen von der Legierungszusammensetzung abhängigen Betrag in positive Richtung verändert, bis er in den Bereich $|\lambda_s| < 2$ ppm, vorzugsweise sogar $|\lambda_s| < 0,1$ ppm, trifft. Wie Tabelle 2 zeigt, wurde dies auch dann erreicht, wenn der Betrag von λ_s im „as quenched“-Zustand des Bandes deutlich über diesem Wert lag. Wichtig dabei ist je nach eingesetzter Legierung eine Bespülung des Kerns entweder mit Luft oder einem reduzierenden (z.B. NH_3 , H_2 , CO) oder passiven Schutzgas (z.B. He , Ne , Ar , N_2 , CO_2), so daß an den Bandoberflächen weder Oxidation noch andere Reaktionen auftreten können. Genausowenig dürfen im Innern des Materials festkörperphysikalische Reaktionen durch eindiffundierendes Schutzgas ablaufen.

Typischerweise werden die amorphen Magnetkerne für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweigs 7 des ADSL-POTS- oder ADSL-ISDN-Splitters je nach eingesetzter Legierungszusammensetzung unter angelegtem Magnetfeld mit einer Rate 0,1 bis 10 K/min auf Temperaturen zwischen 220 °C und 420 °C aufgeheizt, zwischen 0,25 und 48 Stunden im Magnetfeld in diesem Temperaturbereich gehalten und anschließend mit 0,1 - 5 K/min wieder auf Raumtemperatur abgekühlt. Aufgrund der Temperaturabhängigkeit der magnetischen Momente waren die erzielten Schleifen bei den Amorphlegierungen umso flacher und linearer, je niedriger die Querfeldtemperaturen waren. Die immer langsamere Kinetik bei der Reorientierung führte dabei auf eine legierungsspezifische Untergrenze, die im wesentlichen durch wirtschaftliche Gesichtspunkte, d.h. durch 48 stündige Glühungen, bestimmt war.

13

Aufgrund der entmagnetisierenden Felder im Inneren eines Kernstapels, die zu einer betragsmäßigen Schwächung und einer Divergenz der Feldlinien führen, waren besonders flache und lineare Schleifen nur dann erreichbar, wenn die Magnetkerne
5 stirnseitig exakt so aufgestapelt waren, daß die Stapelhöhe mindestens das 10-fache, besser wenigstens das 20-fache des Kernaußendurchmessers betrug. Typische Kennlinien, die den linearen Charakter der hier realisierten Schleifen unterstreichen, sind der Fig. 8 zu entnehmen.

10

Fallweise kann auch auf ein Temperaturplateau im Quersfeld verzichtet werden und die magnetische Vorzugsrichtung durch Abkühlen der Magnetkerne im Quersfeld erzeugt werden. Das Permeabilitätsniveau wird dann über die Abkühlrate unterhalb der
15 Curietemperatur des Magnetwerkstoffes eingestellt. Diese Art der Quersfeldwärmebehandlung nach einer vorausgegangenen Entspannungsbearbeitung eignet sich besonders gut zur Einstellung sehr hoher Permeabilitäten. Bei derart behandelten Magnetker-
20 nen können die normgerechten Frequenzeigenschaften durch Scherung mittels Einbringen eines Schlitzes in angepaßter Breite erreicht werden.

25

Zum Einbringen eines Schlitzes in den Magnetkern zur Einstellung von Höhe und Frequenzgang der effektiven Permeabilität μ_{eff} wurden verschiedene Verfahren erfolgreich untersucht. Zum
Einbringen des Schlitzes erwiesen sich Funkenerosion, vorsichtiges Sägen z.B. mit Diamantsäge, Wasserstrahlschneiden oder Schneiden mittels einer feinen Trennscheibe als besonders günstig. Hierbei wurde beobachtet, daß die Qualität des
30 Schnitts ganz entscheidend in den Frequenzgang der Permeabilität und damit der Einfügungsdämpfung eingeht. Mittels einer vor dem Schneiden durchgeführten Tränkung der Schnittzone mit einem dünnflüssigen Kunstharz, das aufgrund der Kapillarkwirkung zwischen die Bandlagen des Kerns einzieht, wurden beson-
35 ders hohe Schnittqualitäten erzielt. In diesen Fällen waren

die in der Spaltzone auftretenden lokalen Verlustüberhöhungen vergleichsweise klein und demzufolge der Frequenzgang der Permeabilität wesentlich besser konstant als bei rauen Schnittflächen.

5

Im Anschluß an die Wärmebehandlung und das Einbringen des Schlitzes werden die Magnetkerne oberflächlich passiviert, beschichtet, wirbelgesintert oder in einem Trog verkapselt, mit den Primär- bzw. Sekundärwicklungen versehen und gegebenenfalls im Bauelementgehäuse verklebt oder vergossen. Hierbei besteht auch die Möglichkeit, einen Aufbau in sogenannter Planartechnologie zu verwenden. Dieses Verfahren ist unabhängig davon, ob der Magnetkern aus amorphem oder nanokristallinem Material besteht. Aufgrund der Sprödigkeit hat allerdings

10

15

die mechanische Handhabung der ausgetemperten nanokristallinen Magnetkerne mit besonderer Vorsicht zu erfolgen.

Eine weitere Fertigungsmöglichkeit ist, daß das Band zunächst einer Querfeldtemperung im Durchlauf unterzogen und anschließend zum Bandkern gewickelt wird. Der weitere Ablauf verläuft wie oben beschrieben.

20

Die mit diesen Verfahren hergestellten Magnetkerne erfüllen dann folgende Voraussetzungen:

- 25
- Die Hauptinduktivität des bewickelten Ringbandkerns liegt je nach Auslegung der Filterdrossel im Bereich von 0.1 bis 2 mH, bei besonderen Ausführungsformen der Filter (z.B. elliptische Charakteristik) ist die Hauptinduktivität auch < 100 µH.
 - 30 - Die Hauptinduktivität erfüllt diesen Wert auch unter maximaler Wechsellaststeuerung bei den normmäßig festgelegten Frequenzen.
 - Der Linearitätsfehler der Hystereseschleife des Kerns ist so gering, daß gilt:
 - 35 $0,8 \leq \mu(B)/\mu(B=0) \leq 1,2$, vorzugsweise

15

$$0,9 \leq \mu(B)/\mu(B=0) \leq 1,1$$

für $B = 0 - 0,8 \cdot B_s$

- Die in typischen Anwenderschaltungen erzielbaren Bitfehlerlerraten sind konform mit den Normen (ANSI T1E1.413 und ETSI ETR 328).
- Unter Verwendung amorpher und nanokristalliner Magnetwerkstoffe ergeben sich nach abgeglicherer Querfeldtemperung für vorgegebene Werte der Hauptinduktivität z. B. die in Tab. 1 dargestellten typischen minimalen Kernabmessungen, wobei die Abmessungen in der Reihenfolge Außendurchmesser, Innendurchmesser und Höhe angegeben sind.

L _{haupt} [μH]	Kernabmessung [mm ³]	Kernmasse [g]	Werkstoff
560	9.8*6.5*4.4	1.2	Co _{72.8} Fe _{4.7} Si _{5.5} B ₁₇
820	9.3*5.5*2.5	0.78	Co _{72.8} Fe _{4.7} Si _{5.5} B ₁₇
410	9.8*6.5*4.4	1.2	Co _{55.6} Fe _{6.1} Mn _{1.1} Si _{4.3} B _{16.2} Ni _{16.5}
700	6.0*4.0*2.0	0.18	Fe _{88.2} Co _{1.8} Zr ₇ B ₂ Cu ₁
950	8.0*4.0*4.0	0.87	Fe _{73.5} Cu ₁ Nb ₃ Si _{15.5} B ₇

Tab. 1

Ähnliche Kernabmessungen ergeben sich auch beim Einsatz der anderen unten aufgezählten Legierungen, die anwendungsspezifisch eingesetzt werden.

- Bei der Dimensionierung der induktiven Bauelemente sind eine Reihe von Zusammenhängen zu beachten.

Für die induktiven Bauelemente gilt der Zusammenhang

$$L = N^2 \mu_0 \mu_r A_{fe} / l_{fe} \quad (2)$$

16

 L = Induktivität des Bauelements N = Windungszahl μ_0 = universelle Permeabilitätskonstante μ_r = Permeabilität des Materials5 A_{fe} = Eisenquerschnitt des Magnetkerns l_{fe} = Eisenweglänge des Magnetkerns.

10 Aus Gleichung (2) wird ersichtlich, daß die erforderliche Induktivität bei minimalem Bauvolumen nur dann erreichbar ist, wenn Windungszahlen, Permeabilität, Kernquerschnitt und Eisenweglänge aufeinander abgestimmt sind. Die im gesamten Bereich der Arbeitsfrequenz gültige Permeabilität μ oder bei geschlitzten Ausführungsformen die effektive Permeabilität μ_{eff} des Kernmaterials ist neben der günstigen ringförmigen

15 Geometrie der ausschlaggebende Parameter für eine möglichst kompakte Abmessung des Übertragers. Je nachdem welche der nachfolgend aufgezählten Legierungen zum Einsatz kommt und wie die zugehörige Wärmebehandlung geführt wird, läßt sich in definierter Weise ein Permeabilitätsbereich zwischen 500 und

20 100000 abdecken. Durch Einbringen eines Schlitzes in den Magnetkern läßt sich die Untergrenze der Permeabilität bis auf 100 oder sogar noch darunter verschieben (siehe Fig. 4). Für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweiges 7 kommt vorzugsweise der Permeabilitätsbereich μ oder $\mu_{eff} < 30000$ zum

25 Einsatz, was hinsichtlich der Dimensionierung der induktiven Bauelemente ein hohes Maß an Flexibilität mit sich bringt. Die mit diesen Magnetkernen realisierten induktiven Bauelemente für den Hochpaßzweig 7 besitzen aufgrund ihrer Bauform und der hohen Sättigungsinduktion der Magnetkerne gegenüber

30 den geschlitzten Ferritkernen einen starken Volumenvorteil.

Bei der Auswahl des Kernwerkstoffes für die induktiven Bauelemente des Hochpaßzweig 7 entsteht eine grundsätzliche Einschränkung dadurch, daß der Magnetkern durch die hohen Span-

17
nungsamplituden U_{ac} (ADSL) nicht bis in Sättigungsnähe aufmagnetisiert werden darf.

Die der Signalaussteuerung entsprechende Induktion ist durch

$$B_{ac} = (1 / N A_{fe}) * \int U_{ac} dt \quad (3)$$

gegeben. Die Permeabilität und der Klirrfaktor dürfen bei dieser Signalaussteuerung nur sehr geringfügig abfallen. Aus diesem Grunde erfolgt die Beurteilung des Materials anhand von $\mu(B_{ac})$ - und Klirrfaktor-Kennlinien.

Da der Klirrfaktor mit zunehmender Amplitude der magnetischen Induktion B ansteigt, muß die Legierungszusammensetzung in Kombination mit der Querfeldwärmebehandlung so festgelegt sein, daß einerseits die Sättigungsinduktion möglichst hoch, andererseits die Permeabilität unter einer von den Einsatzbedingungen abhängigen oberen Grenze liegt.

Eine niedrigere Permeabilität μ oder μ_{eff} hat eine Vergrößerung der Windungszahl N und damit bei vorgegebener Spannungsamplitude gemäß Gleichung (3) eine niedrigere Amplitude der magnetischen Induktion B zur Folge, was zu einem besseren Klirrfaktor führt.

Nachfolgend werden nun geeignete Legierungssysteme näher beschrieben. Es wurde herausgefunden, daß sich mit den nachfolgend beschriebenen Legierungssystemen unter Einhaltung der oben genannten Bedingungen induktive Bauelemente für Hochpaßzweige mit besonders linearen Hystereseschleifen und kleinen Bauformen herstellen lassen, die alle normgerechten Eigenschaften besitzen.

18

Bei den unten angeführten Legierungssystemen schließen die
Kleiner-/Größerzeichen die Grenzen mit ein, alle at%-Angaben
sind als ungefähr zu betrachten.

Legierungssystem 1:

Ein erstes für den Hochpaßzweig 7 geeignetes Legierungssystem
 5 hat die Zusammensetzung $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$, wobei M ein
 oder mehrere Elemente aus der Gruppe Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge
 und P bezeichnet und $a+b+d+e+x+y+z = 100$ ist, mit

10 Co: $a = 40 - 82 \text{ at\%}$, vorzugsweise $a > 50 \text{ at\%}$,
 Fe+Mn: $b = 3 - 10 \text{ at\%}$,
 Mn/Fe: $c = 0 - 1$, vorzugsweise $c < 0.5$,
 Ni: $d = 0 - 30 \text{ at\%}$, vorzugsweise $d < 20 \text{ at\%}$,
 M: $e = 0 - 5 \text{ at\%}$, vorzugsweise $e < 3 \text{ at\%}$,
 Si: $x = 0 - 15 \text{ at\%}$, vorzugsweise $x > 1 \text{ at\%}$,
 15 B: $y = 8 - 26 \text{ at\%}$, vorzugsweise $8 - 20 \text{ at\%}$,
 C: $z = 0 - 3 \text{ at\%}$,
 $15 < e+x+y+z < 30$, vorzugsweise $18 < e+x+y+z < 25$.

Legierungen dieses Systems bleiben nach der Wärmebehandlung
 20 amorph. Abhängig von der Zusammensetzung und Wärmebehandlung
 konnten damit extrem lineare Hystereseschleifen mit einem
 sehr weiten Permeabilitätsbereich zwischen 500 und 100000 und
 mehr realisiert werden. Zur Einstellung der normgerechten In-
 25 duktivitäten wurden die Magnetkerne fallweise durch Einbrin-
 gen eines Schlitzes in angepaßter Breite magnetisch gesichert.

Dabei hat sich als besonders wichtig herausgestellt, daß sich
 der Wert der Sättigungsmagnetostraktion mit einer auf die Le-
 gierungszusammensetzung abgestimmten Wärmebehandlung sicher
 30 auf besonders kleine Werte von $|\lambda_s| < 0,1 \text{ ppm}$ einstellen
 läßt. Dadurch ergibt sich eine besonders lineare Schleifen-
 form, die zu einer besonders hohen Konstanz der Permeabilität
 über einen weiten Induktionsbereich führt. Außerdem wird
 hierdurch das Auftreten schädlicher magnetoelastischer Reso-
 35 nanzen des Ringbandkerns vermieden. Diese würden bei bestimm-

20

ten Frequenzen des Induktionsverlaufes zu Einbrüchen in der Permeabilität oder zu erhöhten Ummagnetisierungsverlusten führen. Bei den Untersuchungen wurde herausgefunden, daß gerade die Kombination aus dieser annähernden Magnetostriktionsfreiheit, einer möglichst geringen Banddicke (am besten kleiner 17 μm) und einem vergleichsweise hohen spezifischen elektrischen Widerstand von 1,1 bis 1,5 $\mu\Omega\text{m}$ zu einem extrem guten Frequenzverhalten führt, das für das ADSL-Hochpaßfilter 10 und den ADSL-Hochpaß-Übertrager 9 besonders gut geeignet ist.

Legierungssystem 2:

Ein zweites Legierungssystem weist die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{Cu}_y\text{M}_z\text{Si}_v\text{B}_w$ auf, wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, Ta, Zr, Hf, Ti, Mo oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und $x + y + z + v + w = 100 \%$ ist, mit

Fe:	$x = 100 \% - y - z - v - w,$	
Cu:	$y = 0,5 - 2 \text{ at}\%,$	vorzugsweise 0,8 - 1,2 at%,
M:	$z = 1 - 5 \text{ at}\%,$	vorzugsweise 2 - 3 at%,
Si:	$v = 6,5 - 18 \text{ at}\%,$	vorzugsweise 14 - 17 at%,
B:	$w = 5 - 14 \text{ at}\%.$	

wobei $v + w > 18 \text{ at}\%$, vorzugsweise $v + w = 22 - 24 \text{ at}\%$ ist. Legierungen dieses Systems haben sich wegen ihrer linearen Schleifenform und ihres sehr guten Frequenzverhaltens für den ADSL-Hochpaßzweig 7 als sehr gut geeignet herausgestellt. Besonders gute ADSL-Hochpaßeigenschaften werden bei den als "vorzugsweise" hervorgehobenen Legierungszusammensetzungen erreicht, da hier, ebenso wie im Legierungssystem 1 ein Nulldurchgang der Sättigungsmagnetostriktion eingestellt werden kann. Dabei wurde auch hier herausgefunden, daß gerade die Kombination aus einem hohen spezifischen elektrischen Widerstand von 1,1 bis 1,2 $\mu\Omega\text{m}$ und einer kleinen Banddicke zu ei-

21

nem ausgezeichneten Frequenzverhalten und damit hervorragenden Eigenschaften des ADSL-Hochpaßübertragers 9 und der Hochpaßfilterdrossel 14 führt.

5 Daneben hat sich auch die mit $B_s = 1,1 - 1,3 \text{ T}$ gemessene, vergleichsweise hohe Sättigungsinduktion bei extrem linearen Schleifen als sehr vorteilhaft erwiesen, da hierdurch hohe Induktionswerte von 1 T oder sogar mehr ausgesteuert werden können. Zusätzlich wurde gefunden, daß die Temperaturcharakteristik der Magnetkerne mittels der Wärmebehandlung zur Einstellung der Permeabilität gezielt angepaßt werden kann. Dar-
10 aus können gerade bei rauen Umweltbedingungen, wie sie in Telekommunikationseinrichtungen durchaus auftreten können, nicht anders realisierbare anwendungsspezifische Vorteile erwachsen. Bei Ringbandkernen mit höheren Permeabilitätswerten wurde zur Einstellung der normgerechten Eigenschaften auf eine Scherung mittels eines Schlitzes zurückgegriffen.
15

Legierungssystem 3:

20

Ein drittes für für Hochpaßfilter geeignetes Legierungssystem hat die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{Zr}_y\text{Nb}_z\text{B}_v\text{Cu}_w$, wobei $x + y + z + v + w = 100$ at% ist, mit

25 Fe: $x = 100 \text{ at\%} - y - z - v - w$,
vorzugsweise 83 - 86 at%,
Zr: $y = 2 - 5 \text{ at\%}$, vorzugsweise 3 - 4 at%,
Nb: $z = 2 - 5 \text{ at\%}$, vorzugsweise 3 - 4 at%,
B: $v = 5 - 9 \text{ at\%}$,
30 Cu: $w = 0,5 - 1,5 \text{ at\%}$, vorzugsweise 1 at%,
wobei $y + z > 5 \text{ at\%}$, vorzugsweise 6 - 7 at%,
und $y + z + v > 11 \text{ at\%}$, vorzugsweise 12 - 16 at% ist.

35 Mit Legierungen dieses Systems konnten mit Quersfeldwärmebe-
handlungen die legierungsspezifisch im Intervall zwischen 510

22

°C und 690 °C durchgeführt wurden, ebenfalls lineare Schleifenformen und ein gutes, für den ADSL-Hochpaßfilter 10 geeignetes Frequenzverhalten erzielt werden. Besonders günstig wirkt sich hier auf die Größe des Bauelements die hohe Sättigungsinduktion von ca. 1,5 bis 1,6 T aus.

Legierungssystem 4:

Ein weiteres geeignetes Legierungssystem hat die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$, wobei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet und $x + y + z + w = 100$ at% ist, mit

$$\text{Fe:} \quad x = 100 \text{ at\%} - y - z - w,$$

vorzugsweise 83 - 91 at%,

$$\text{M:} \quad y = 6 - 8 \text{ at\%},$$

vorzugsweise 7 at%,

$$\text{B:} \quad z = 3 - 9 \text{ at\%},$$

$$\text{Cu:} \quad w = 0 - 1,5 \text{ at\%}.$$

Mit Legierungen dieses Systems konnten die Grundvoraussetzung $|\lambda_s| < 1$ ppm erfüllt werden. Die mit den durchgeführten Quersfeldbehandlungen zwischen 510 °C und 690 °C legierungsspezifisch erreichten Permeabilitäten lagen vergleichsweise niedrig zwischen 2000 und 15000. Die für den ADSL-Hochpaßfilter 10 notwendigen Linearitätsanforderungen wurden dabei vor allem im oberen Bereich der Quersfeldtemperaturen befriedigt. Aufgrund der hohen Sättigungsinduktion von 1,5 bis 1,6 T konnten sehr kleine Bauformen realisiert werden.

Legierungssystem 5:

Ein fünftes Legierungssystem weist schließlich die Zusammensetzung $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-x}\text{Zr}_7\text{B}_{2+x}\text{Cu}_1$ auf mit $x = 0 - 3$, vorzugsweise $x = 0$ auf, wobei bei entsprechendem Abgleich der restlichen Legierungsbestandteile Co durch Ni ersetzbar ist.

23

Bei diesem System wurde bei legierungsspezifisch abgestimmter Quersfeldwärmebehandlung ein Nulldurchgang in der Sättigungsmagnetostriktion erreicht, der zu besonders linearen Hystereseverläufen führte. Dadurch wurden die Frequenzgänge der komplexen Permeabilität so stark verbessert, daß sie denen der Legierungssystemen 1 und 2 sehr nahe kommen. Als herausragender Vorteil erwies sich bei diesem System die hohe Sättigungsinduktion, die mit Werten von $B_s = 1,66$ bis $1,73$ T gemessen wurde. Durch die besonders günstige Kombination aus annähernder Magnetostriktionsfreiheit und hoher Sättigungsinduktion konnten hier verzerrungsarm nutzbare Induktionsamplituden bis zu $1,5$ Tesla und mehr realisiert werden, wodurch besonders kleine Bauformen, die sowohl für die ADSL-Hochpaßfilterdrosseln 14 als auch für die ADSL-Hochpaß-Übertrager 9 genutzt werden sollen, möglich werden.

Die Legierungssysteme 2 bis 5 erhalten nach der Wärmebehandlung eine feinkristalline Struktur mit Korndurchmessern unter 100 nm. Diese Körner sind von einer amorphen Phase umgeben, die allerdings weniger als 50 % des Materialvolumens einnimmt.

Sämtliche Legierungssysteme 1 bis 5 zeichnen sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

- extrem lineare Hystereseschleife;
- Betrag der Sättigungsmagnetostriktion $|\lambda_s| < 2$ ppm, vorzugsweise $< 0,1$ ppm nach der Wärmebehandlung. Bei den Kobalt-Basis-Amorphwerkstoffen kann die Sättigungsmagnetostriktion dadurch eingestellt werden, daß der Fe und Mn-Gehalt entsprechend feinangepaßt wird. Bei den nanokristallinen Legierungen kann der Sättigungsmagnetostriktion über die Größe des feinkristallinen Korns eingestellt werden, was durch eine gezielte Abstimmung der Wärmebehandlung, des Metalloidgehaltes und des Gehaltes an Refraktärmetallen bewerkstelligt werden kann.

24

- Sättigungsinduktion von 0,6 T bis 1,7 T, wobei die Sättigungsinduktion durch Wahl des Gehaltes an Ni, Co, M, Si, B und C feinabgestimmt werden kann.
- Bänder, deren Dicken weniger als 17 μm betragen können;
- 5 - Hoher spezifischer elektrischer Widerstand, der bis zu 1,5 $\mu\Omega\text{m}$ betragen kann.

Die oben genannten Anforderungen und Legierungsbereiche werden nach Durchführung der beschriebenen Wärmebehandlung z.B.
 10 durch die in Tabelle 2 aufgeführten Legierungsbeispiele eingehalten bzw. erfüllt.

Legierungs- zusammensetzung [at %]	Struktur	Sättig.- induktion [T]	An- isotropie- feldstärke H_a [A/cm]	Sättigungsmagneto- striktion λ_s	
				as quen- ched	wärme- behandelt
$\text{Co}_{71.7}\text{Fe}_{1.1}\text{Mo}_1\text{Mn}_4\text{Si}_{13.2}\text{B}_9$	amorph	0,82	1,5	$-12 \cdot 10^{-8}$	$-3,5 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{72.5}\text{Fe}_{1.5}\text{Mo}_{0.2}\text{Mn}_4\text{Si}_{4.8}\text{B}_{17}$	amorph	1,0	3,5	$-12 \cdot 10^{-8}$	$-4,1 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{72.8}\text{Fe}_{4.7}\text{Si}_{5.5}\text{B}_{17}$	amorph	0,99	4,8	$-32 \cdot 10^{-8}$	$-1,6 \cdot 10^{-8}$
$\text{Co}_{55.6}\text{Fe}_{6.1}\text{Mn}_{1.1}\text{Si}_{4.3}\text{B}_{16.2}\text{Ni}_{16.5}$	amorph	0,93	8,0	$-110 \cdot 10^{-8}$	$+4,2 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7$	nanokr.	1,21	0,7	$+24 \cdot 10^{-6}$	$+1,6 \cdot 10^{-7}$
$(\text{Fe}_{0.98}\text{Co}_{0.02})_{90}\text{Zr}_7\text{B}_2\text{Cu}_1$	nanokr.	1,70	1,7	-	$-1,0 \cdot 10^{-7}$
$\text{Fe}_{84}\text{Zr}_{3.5}\text{Nb}_{3.5}\text{B}_8\text{Cu}_1$	nanokr.	1,53	0,8	$+3 \cdot 10^{-6}$	$+1,5 \cdot 10^{-7}$
$\text{Fe}_{84}\text{Nb}_7\text{B}_9$	nanokr.	1,5	1,1	-	$+1,0 \cdot 10^{-7}$

Tab. 2

- 15 Die in Tabelle 2 aufgeführten amorphen, fein- oder nanokristallinen Legierungen zeichnen sich durch besonders hohe Werte der Sättigungsinduktion von bis zu 1,7 Tesla aus. Diese

25

lassen vergleichsweise hohe Permeabilitätswerte zu, wodurch gegenüber Ferritübertragern weitere Vorteile hinsichtlich Baugröße und Bewicklung entstehen.

Patentansprüche:

5 1. Frequenzweiche mit einem Tiefpaßzweig (8) für niederfrequente Signale insbesondere analoger Kommunikationssysteme und einem Hochpaßzweig (7) für hochfrequente Signale digitaler Kommunikationssysteme mit einer Vielzahl von induktiven Bauelementen (11, 14) mit Magnetkernen, dadurch gekennzeichnet,
10 daß der Hochpaßzweig (7) wenigstens ein Bauelement (11, 14) mit einem Magnetkerne aus einer amorphen oder nanokristallinen Legierung umfaßt.

15 2. Frequenzweiche nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung die Zusammensetzung $\text{Co}_a(\text{Fe}_{1-c}\text{Mn}_c)_b\text{Ni}_d\text{M}_e\text{Si}_x\text{B}_y\text{C}_z$ aufweist, wobei M ein oder mehrere Elemente aus der Gruppe Nb, Mo, Ta, Cr, W, Ge und P bezeichnet und $a+b+d+e+x+y+z = 100$ ist, mit
20 Co: $a = 40 - 82 \text{ at\%}$,
Fe+Mn: $b = 3 - 10 \text{ at\%}$,
Mn/Fe: $c = 0 - 1$,
Ni: $d = 0 - 30 \text{ at\%}$,
M: $e = 0 - 5 \text{ at\%}$,
Si: $x = 0 - 15 \text{ at\%}$,
B: $y = 8 - 26 \text{ at\%}$,
C: $z = 0 - 3 \text{ at\%}$,
15< $e+x+y+z$ <30.

30 3. Frequenzweiche nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Beziehungen gelten:
Co: $a = 50 - 82 \text{ at\%}$,
Fe+Mn: $b = 3 - 10 \text{ at\%}$,
35 Mn/Fe: $c = 0 - 0,5$,
Ni: $d = 0 - 20 \text{ at\%}$,

27

M: $e = 0 - 3 \text{ at\%}$,

Si: $x = 1 - 15 \text{ at\%}$,

B: $y = 8 - 20 \text{ at\%}$,

C: $z = 0 - 3 \text{ at\%}$,

5 mit $18 < e + x + y + z < 25$.

10 4. Frequenzweiche nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Legierung die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{Cu}_y\text{M}_z\text{Si}_v\text{B}_w$ auf-
weist, wobei M ein Element aus der Gruppe Nb, W, Ta, Zr,
Hf, Ti, Mo oder eine Kombination aus diesen bezeichnet und
 $x + y + z + v + w = 100 \%$ ist, mit

Fe: $x = 100 \% - y - z - v - w$,

Cu: $y = 0,5 - 2 \text{ at\%}$,

15 M: $z = 1 - 5 \text{ at\%}$,

Si: $v = 6,5 - 18 \text{ at\%}$,

B: $w = 5 - 14 \text{ at\%}$,

wobei $v + w > 18 \text{ at\%}$ gilt.

20 5. Frequenzweiche nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß die folgenden Beziehungen gelten:

Cu: $y = 0,8 - 1,2 \text{ at\%}$,

M: $z = 2 - 3 \text{ at\%}$,

25 Si: $v = 14 - 17 \text{ at\%}$,

B: $w = 5 - 14 \text{ at\%}$,

wobei $v + w = 22 - 24 \text{ at\%}$.

30 6. Frequenzweiche nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Legierung die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{Zr}_y\text{Nb}_z\text{B}_v\text{Cu}_w$ auf-
weist, wobei $x + y + z + v + w = 100 \text{ at\%}$ ist, mit

Fe: $x = 100 \text{ at\%} - y - z - v - w$,

28

Zr: $y = 2 - 5 \text{ at\%}$,
Nb: $z = 2 - 5 \text{ at\%}$,
B: $v = 5 - 9 \text{ at\%}$,
Cu: $w = 0,5 - 1,5 \text{ at\%}$,

5 wobei $y + z > 5 \text{ at\%}$ und $y + z + v > 11$ gilt.

7. Frequenzweiche nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Beziehungen gelten:

10 Fe: $x = 83 - 86 \text{ at\%}$,
Zr: $y = 3 - 4 \text{ at\%}$,
Nb: $z = 3 - 4 \text{ at\%}$,
B: $v = 5 - 9 \text{ at\%}$,
Cu: $w = 1 \text{ at\%}$,

15 wobei $y + z = 6 - 7 \text{ at\%}$,
und $y + z + v > 12 - 16 \text{ at\%}$.

8. Frequenzweiche nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
20 daß die Legierung die Zusammensetzung $\text{Fe}_x\text{M}_y\text{B}_z\text{Cu}_w$ aufweist,
wobei M ein Element aus der Gruppe Zr, Hf, Nb bezeichnet
und $x + y + z + w = 100 \text{ at\%}$ ist, mit

25 Fe: $x = 100 \text{ at\%} - y - z - w$,
M: $y = 6 - 8 \text{ at\%}$,
B: $z = 3 - 9 \text{ at\%}$,
Cu: $w = 0 - 1,5 \text{ at\%}$.

9. Frequenzweiche nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
30 daß die Beziehungen gelten:

Fe: $x = 83 - 91 \text{ at\%}$,
M: $y = 7 \text{ at\%}$,
B: $z = 3 - 9 \text{ at\%}$,
Cu: $w = 0 - 1,5 \text{ at\%}$.

10. Frequenzweiche nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Legierung die Zusammensetzung $(\text{Fe}_{0,98}\text{Co}_{0,02})_{90-}$
5 $x\text{Zr}_7\text{B}_2+x\text{Cu}_1$ aufweist mit $x = 0 - 3$, wobei bei entsprechen-
dem Abgleich der restlichen Legierungsbestandteile Co
durch Ni ersetzbar ist.
- 10 11. Frequenzweiche nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß $x = 0$ ist.

1/6

FIG 1

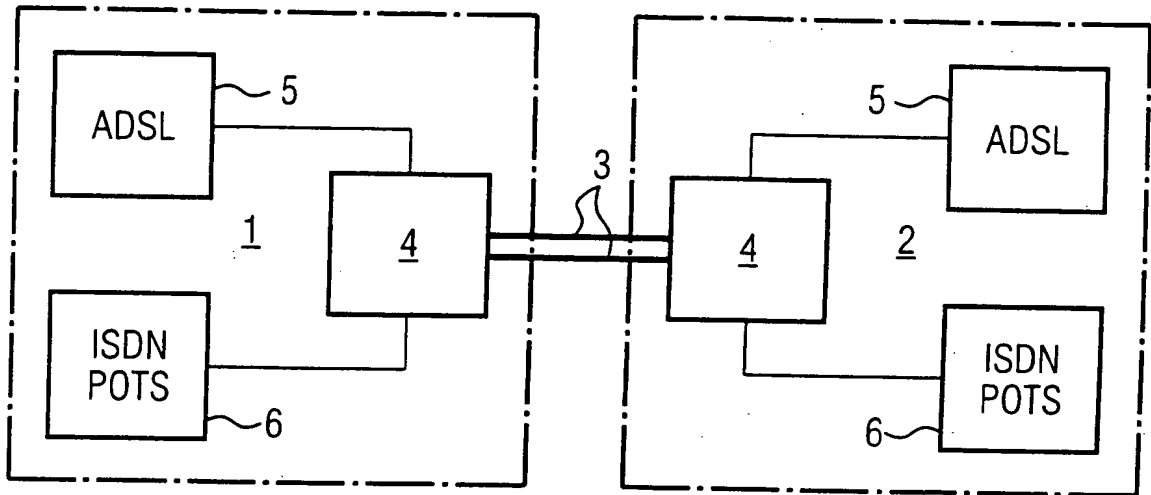


FIG 2

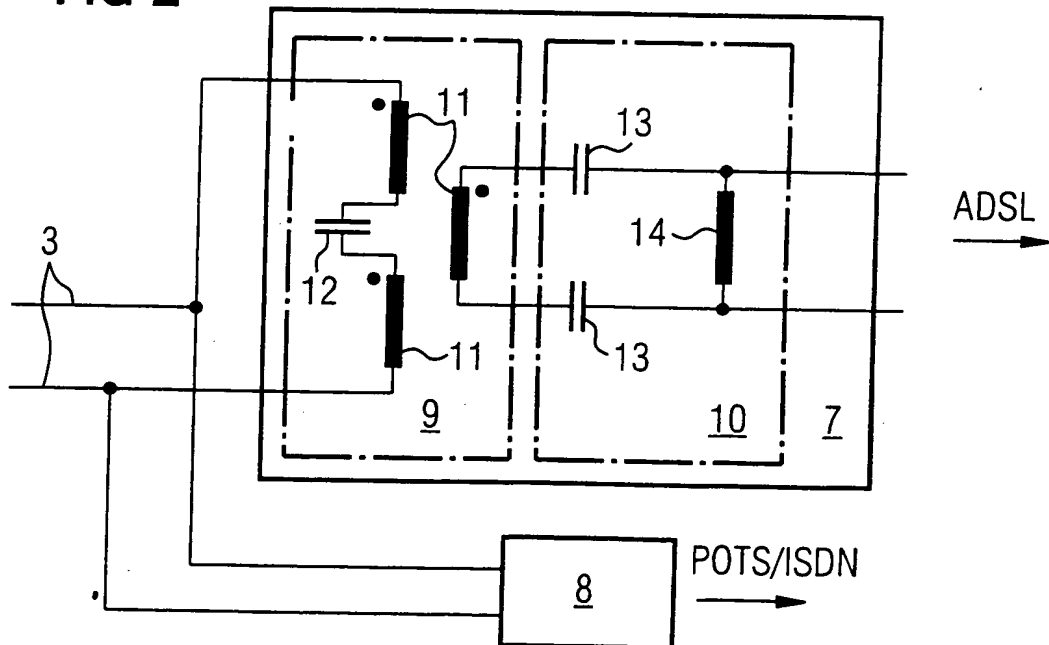


FIG 3

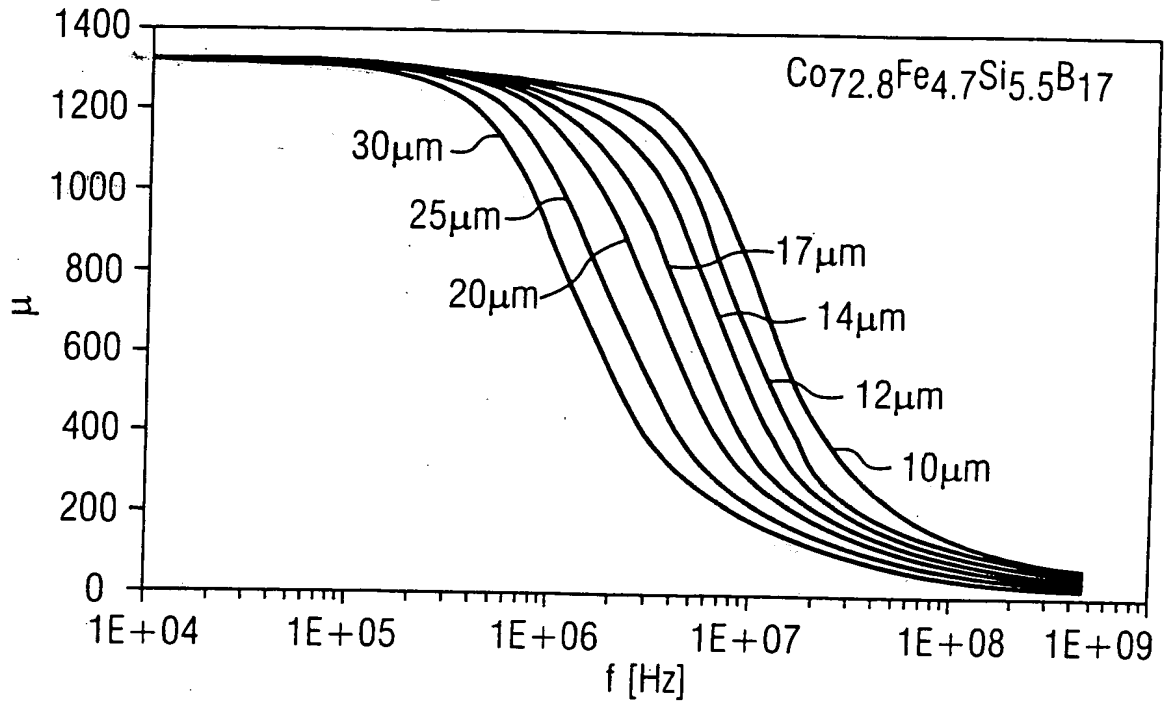
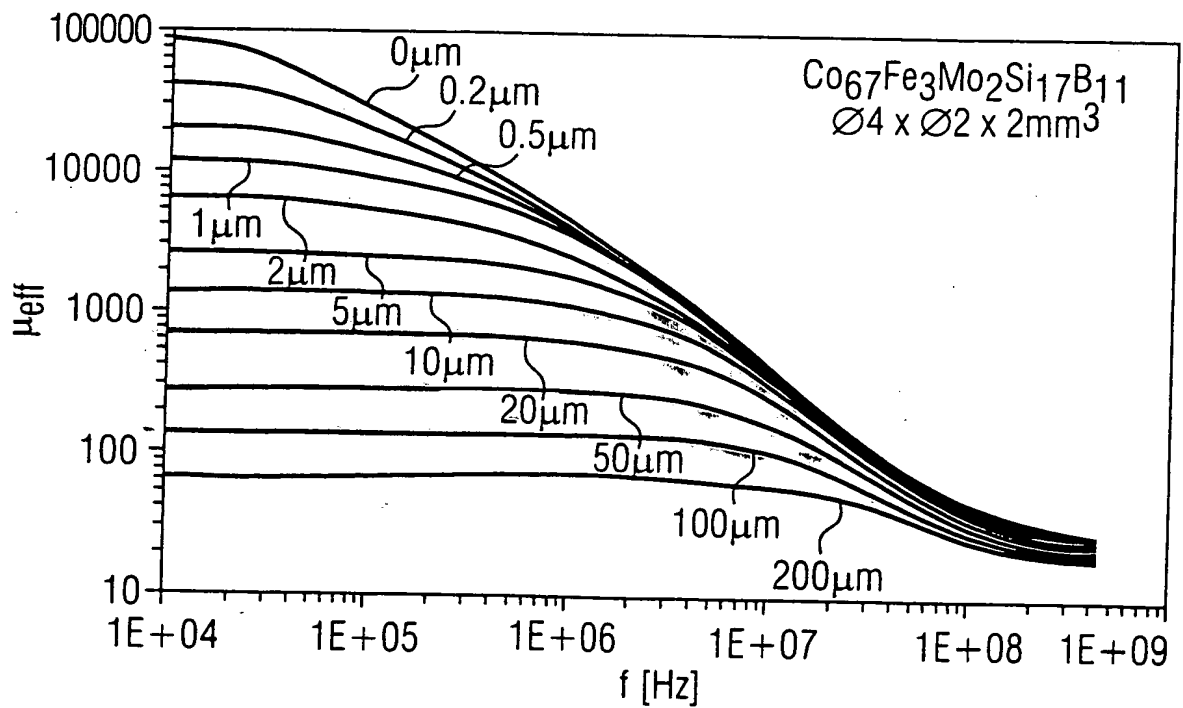
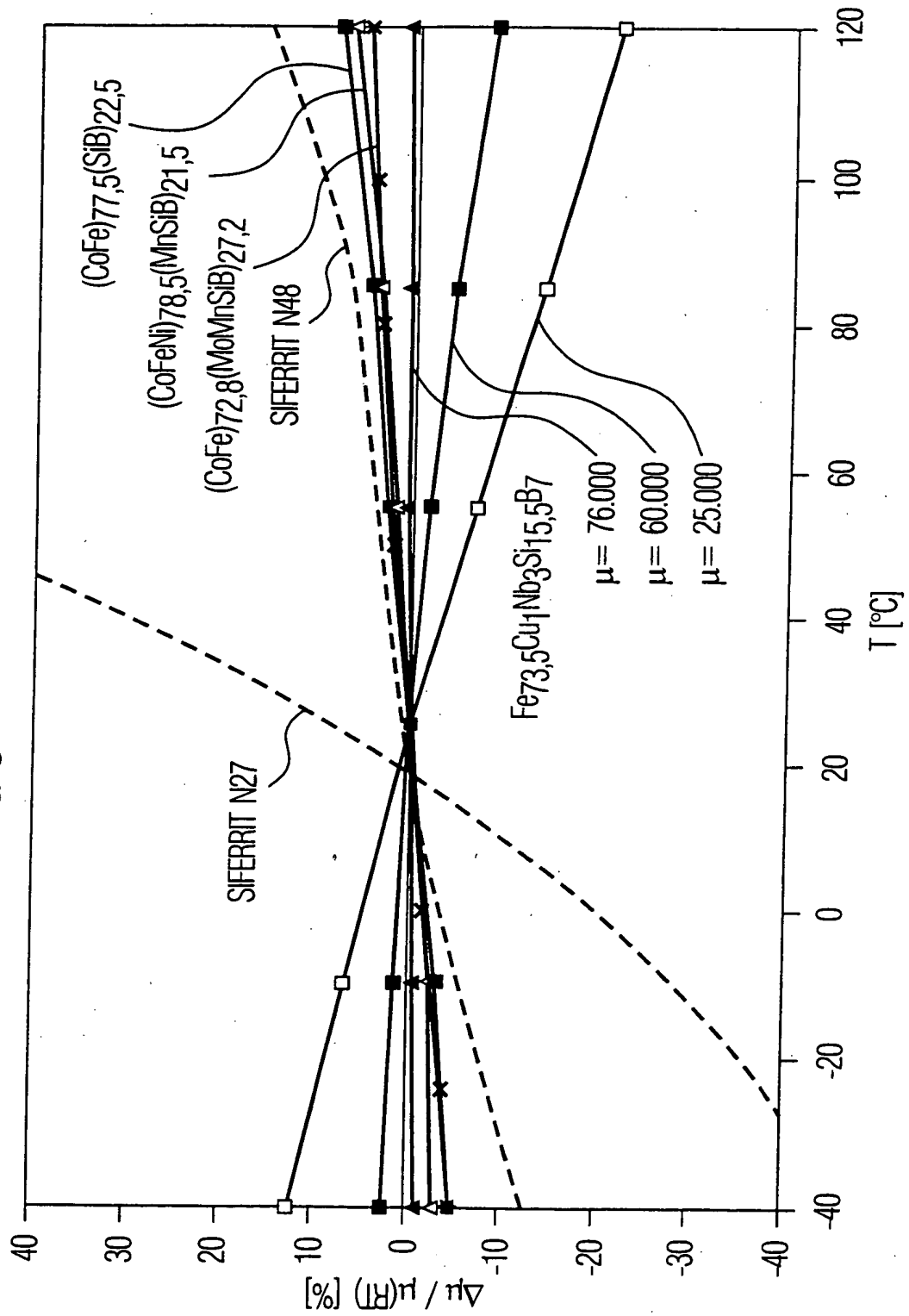


FIG 4



3/6

FIG 5



4/6

FIG 6

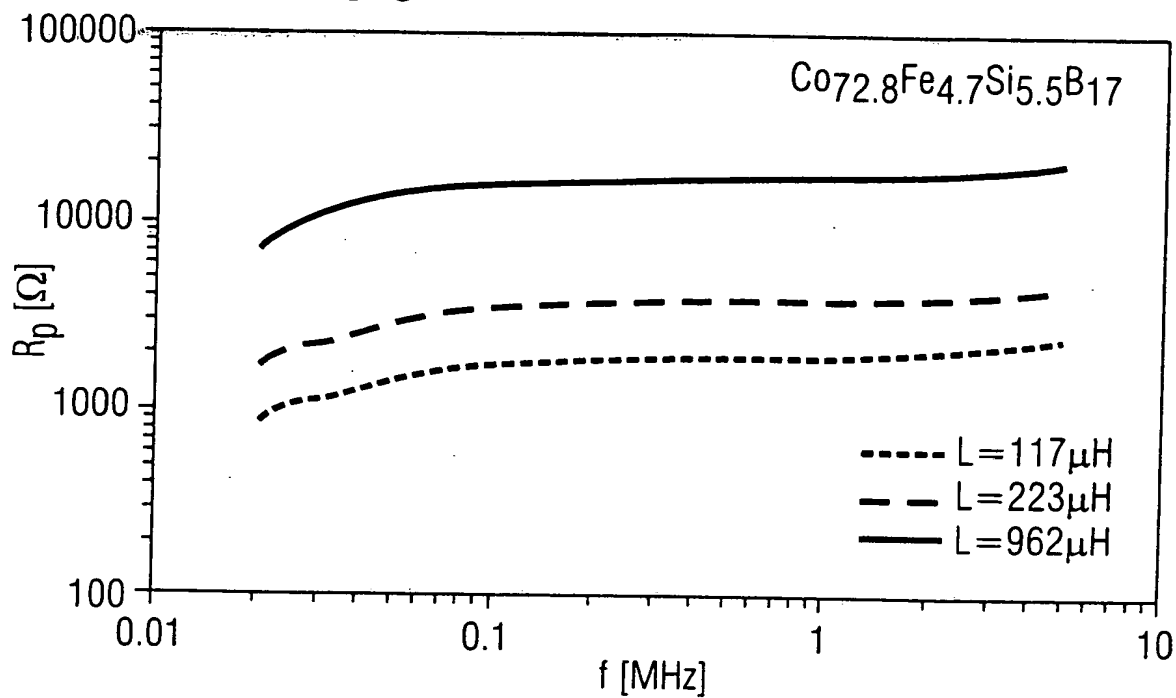


FIG 7

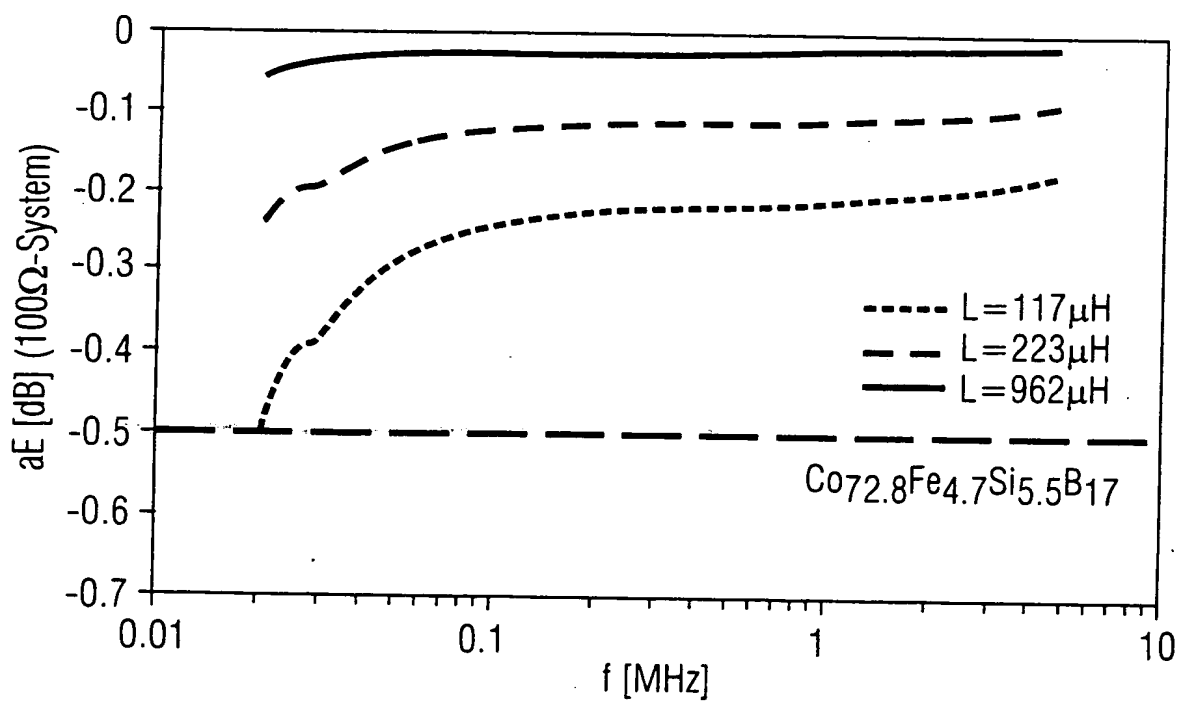
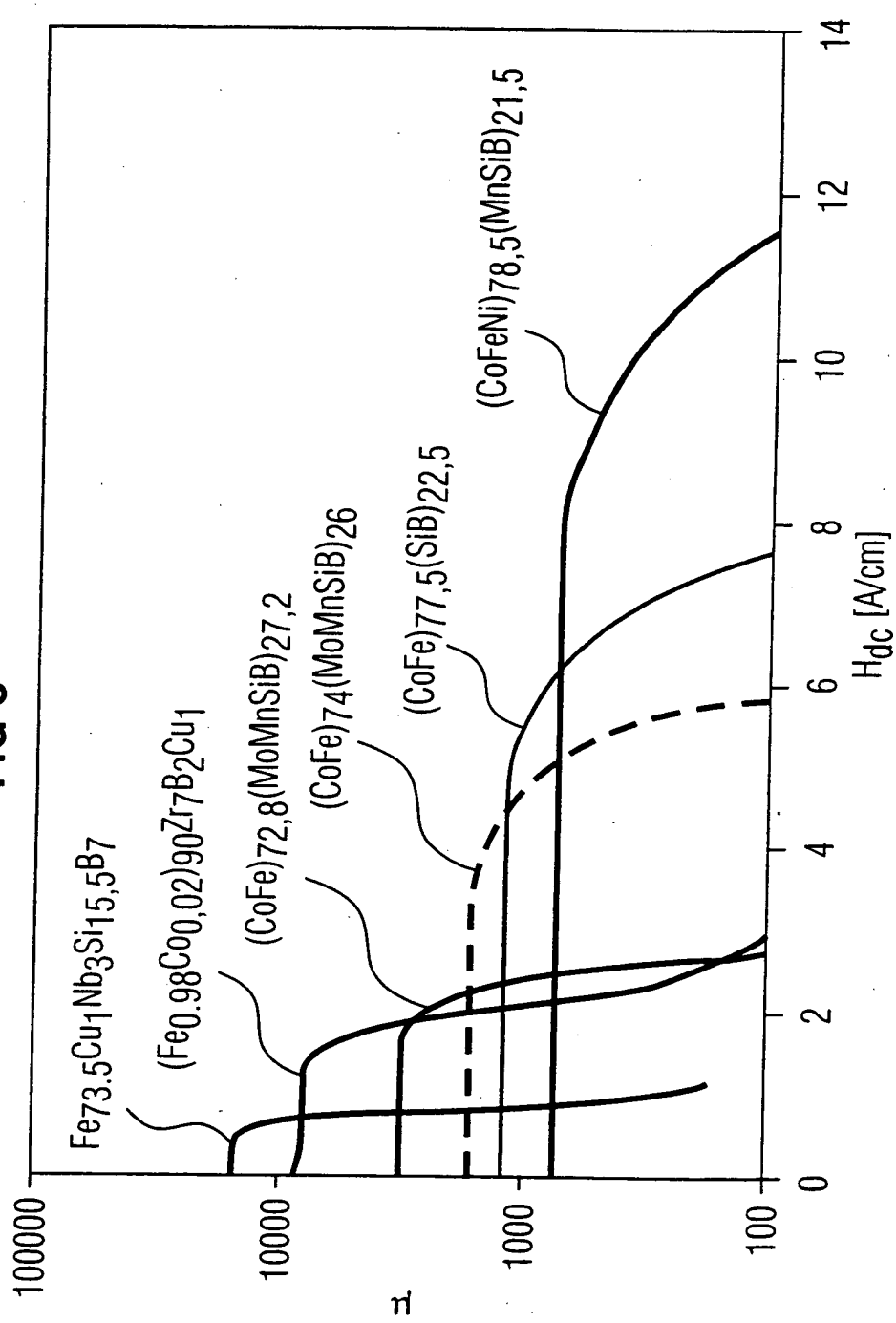


FIG 8



6/6

FIG 9

